

**ОСОБЕННОСТИ ДЕФОРМАЦИИ СРЕДНИХ СЛОЕВ СПЛАВА
Fe – 3% Si(110)[hkl] ПРОКАТКОЙ С ДИАМЕТРОМ ВАЛКОВ 90 ММ**

¹Мишнев С.В., ²Кузембаев С.Б., ³Березюк В.Г., ⁴Дементьева И.С.,
⁵Сихимбаев М.Р., ⁶Абсадыков Б.Н.

^{1,3,4}Сибирский федеральный университет, ул. Академика Киренского, 28, корпус Б,
660049, г.Красноярск, Россия

²Кокшетауский государственный университет им. Ш.Уалиханова, корпус 2, ул.
Темирбекова, 50, г. Кокшетау, Казахстан

⁵ Карагандинский экономический университет Казпотребсоюза, ул. Академическая
9, 100009, Караганда, Казахстан

⁶

e-mail: ¹ smishnev@sfu-kras.ru; ²ksb_mlp@mail.ru; ³ vberezuk@mail.ru;
⁴ irene-dementyeva@yandex.ru; ⁵smurat@yandex.ru; ⁶ b_absadykov@mail.ru

Аннотация. В статье предложены результаты исследования влияния исходной кристаллографической ориентировки и режимов деформации на текстуру прокатки в центральном слое монокристаллов сплава *Fe – 3% Si (110)[hkl]*. В лабораторных условиях были прокатаны группы образцов монокристаллов. Группы образцов были классифицированы по конечной величине деформации, по идеальной кристаллографической ориентировке лежащей в плоскости прокатки и по отклонениям направления плоскости идеальной ориентировки от направления прокатки. Методикой проведения эксперимента учитывалось так же и величина обжатия за один подкат. Для исследования результатов прокатки был применен рентгенографический метод. Данные рентгенографического исследования накладывали на стереографическую проекцию и строили прямые полюсные фигуры. Результаты расшифровки прямых полюсных фигур выявили отличия в формировании текстуры от ранее полученных результатов. Эти отличия заключаются в проявлении в центральном слое однокомпонентной текстуры деформации.

Ключевые слова. Деформация монокристаллов, кристаллографическая текстура, стандартные кристаллографические проекции, полюсные фигуры, текстуры деформации.

Актуальность. Исследование вопросов текстурообразования в металлах и сплавах и их влияния на конечные свойства полуфабрикатов и изделий занимаются ученые, работающие в областях физики твердого тела, металловедения, пластической деформации, математики и главные специалисты машиностроительного комплекса.

Основные виды текстур сегодня представлены аксиальными текстурами, коническими текстурами и текстурами прокатки, классифицируемые внутри вида по симметричному признаку. Теоретические и экспериментальные данные в обработке металлов давлением, на основе учета преимущественной ориентировки в микропластических деформациях, позволяют на основе симметричного подхода проектировать новые типы текстур с применением специальных схем внешнего поля воздействия

Проектирование новых типов текстур, по симметричному признаку, направлено на получение полуфабрикатов и изделий с заранее заданными

физико-механическими и специальными свойствами, в итоге, на повышение эксплуатационных свойств машин и механизмов - на повышение технико-экономических показателей машиностроительного комплекса.

Постановка задачи исследования и физическая сущность процесса

Образование текстуры при пластической деформации есть следствие поворота кристаллографических плоскостей и направлений относительно технологического или другого специального направлений. Кристаллографическая текстура, являясь основным компонентом при формировании физико-механических свойств в поликристаллических материалах, определяется исходной текстурой заготовки перед технологической обработкой и ее основными кинематическими и динамическими параметрами.

Одно из направлений оптимизации физико-механических свойств полуфабрикатов и готовых изделий из поликристаллических материалов может быть реализовано за счет управления текстурообразованием при учете исходной кристаллографической ориентировки заготовки.

Так, в работе поставлена задача определить влияние исходной текстуры $(110)[hkl]$ монокристаллов Fe – 3%Si на текстуру деформации в центральных слоях при прокатке с различной степенью обжатия. Отличие деформации прокатки сплавов $(110)[hkl]$ на поверхности от деформации центральных слоев обусловлено непрерывным поворотом осей главных напряжений вокруг поперечного направления прокатки. В результате происходит смена систем скольжения участвующих в деформации. В том случае, когда монокристалл ориентирован идеально относительно плоскости (110) , на противоположных поверхностях будет происходить симметричная смена систем скольжения. Однако, когда эта ориентировка будет смещена в сторону направления прокатки, возникает неоднозначное участие систем скольжения в деформации.

Исследование влияния исходной ориентировки и режимов деформации на текстуру прокатки монокристаллов $(110)[hkl]$ с отклонением от плоскости в сторону направления прокатки на $5 \div 10^\circ$ было проведено на сплаве Fe – 3%Si.

В лабораторных условиях была проведена прокатка образцов трех групп. Первая группа – с исходной идеальной ориентировкой $(110)[\bar{1}12]$ и $(110)[\bar{1}11]$, с отклонением от плоскости в сторону направления прокатки на 8 градусов; вторая группа заготовок – с исходной идеальной ориентировкой $(110)[\bar{3}31]$ и $(110)[\bar{5}51]$, с отклонением от плоскости в сторону направления прокатки на 7 градусов; третья группа заготовок – с исходной идеальной ориентировкой $(110)[\bar{5}51]$, с отклонением от плоскости в сторону направления прокатки на 5 градусов. Образцы были прокатаны на лабораторном двухвалковом стане ДУО-90 с диаметром валков 90 мм., при комнатной температуре. Прокатка проводилась без технологической смазки. Для предотвращения разворота образцов в валках использовались направляющие. Поперечное сечение исходных образцов $0,48 \times 15,0$ мм.

Формирование текстуры прокатки центральных слоев сплава «группы 1», в основном имеет сходный характер с описанным ранее в работах [1÷7, 11÷13]. Основное отличие полученных результатов, от ранее проведенных исследований, состоит в том, что ориентировка деформированных монокристаллов «группы 1» является однокомпонентной.

На рисунках 1, 2 показаны полюсные фигуры $\{110\}$, снятые с центральных слоев сплава Fe – 3%Si указанной группы, прокатанных с различной степенью обжатия: 35%, 55% и 85%.

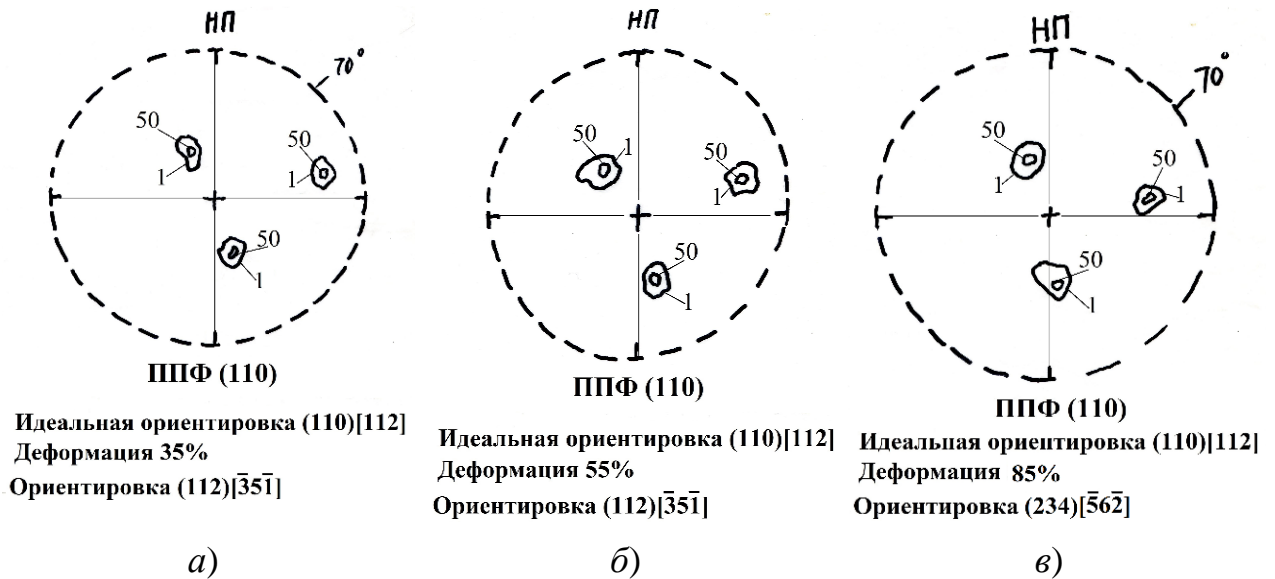
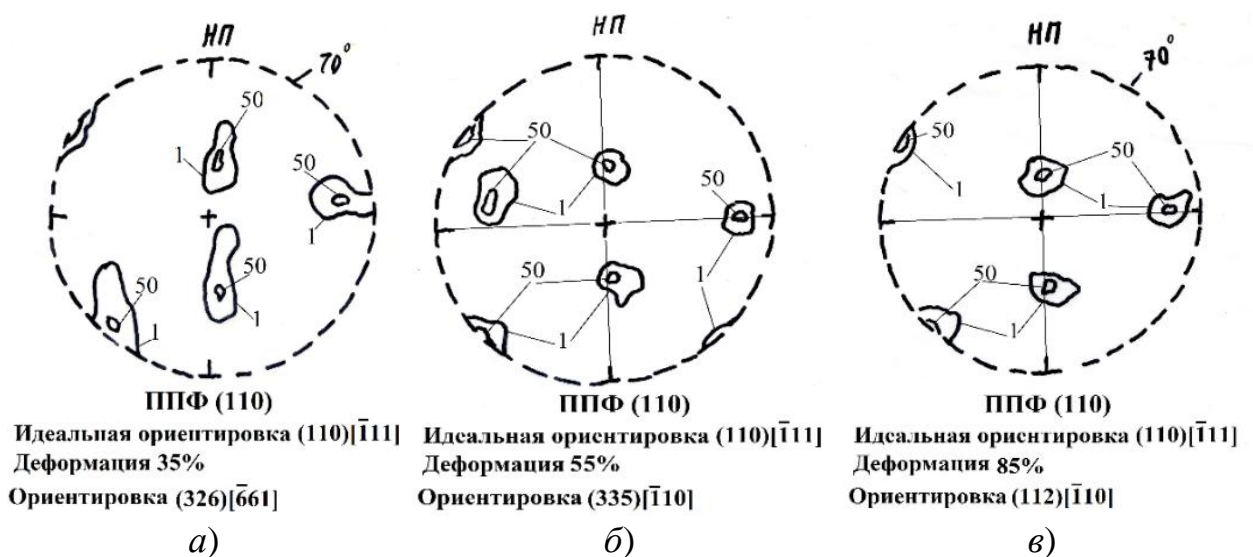


Рисунок 1 – Прямые полюсные фигуры (110) центральных слоев образцов (а, б, в) холоднокатаного сплава Fe – 3% Si(110)[hkl] с исходной идеальной ориентировкой (110)[$\bar{1}12$], прокатанных на лабораторном прокатном стане с диаметром валков 90 мм., со степенью обжатия: а) – 35%; б) – 55%; в) – 85%.



**Рисунок 2 – Прямые полюсные фигуры (110) центральных слоев образцов (а, б, в) холоднокатаного сплава Fe – 3% Si(110)[hkl] с исходной идеальной ориентировкой (110)[$\bar{1}11$], прокатанных на лабораторном прокатном стане с диаметром валков 90 мм., со степенью обжатия:
а) – 35%; б) – 55%; в) – 85%**

Анализируя полюсные фигуры, можно сказать, что ориентировка (110)[hkl] сплава Fe-3%Si однокомпонентная: у образцов с идеальной ориентировкой (110)[$\bar{1}12$] при обжатии 35% близка к ориентировке (112)[$\bar{3}5\bar{1}$] (рисунок 1, а); у образцов с идеальной ориентировкой (110)[$\bar{1}11$] – близка к ориентировке (326)[$\bar{6}61$] (рисунок 2, а), причем у последнего отмечается рассеяние вокруг поперечного направления прокатки (ППН). Дальнейшее увеличение деформации уменьшает рассеяние и практически не изменяет ориентировки (рисунок 1, б; рисунок 2, б).

Для исходного образца с идеальной ориентировкой (110)[$\bar{1}12$], после обжатия 85%, ориентировка по плоскости расположена между (112) и (111), а по направлению она несколько смещена против часовой стрелки от оси [$\bar{1}10$] и может быть записана как (234)[$\bar{5}6\bar{2}$], (рисунок 1, в). При деформации образца с идеальной ориентировкой (110)[$\bar{1}11$] со степенью обжатия 85%, ориентировка однокомпонентная (112)[$\bar{1}10$] (рисунок 2, в).

Формирование текстуры деформации (110)[hkl] центральных слоев сплава Fe – 3%Si групп 2 и 3, с отклонением от плоскости (110) в сторону направления прокатки, соответственно, на 7 и 5 градусов, в основном также имеет сходный характер с описанным ранее в литературе. В зависимости от условий прокатки и исходной кристаллографической ориентировки, отличается рассеянием ориентировок и наличием других слабых компонент [8÷10, 14÷21].

Результаты рентгенографического анализа прокатки групп 2 и 3 приведены на рисунках 3÷5. Анализ полюсных фигур проведен аналогично первой группе, результат которых представлены в таблице ниже.

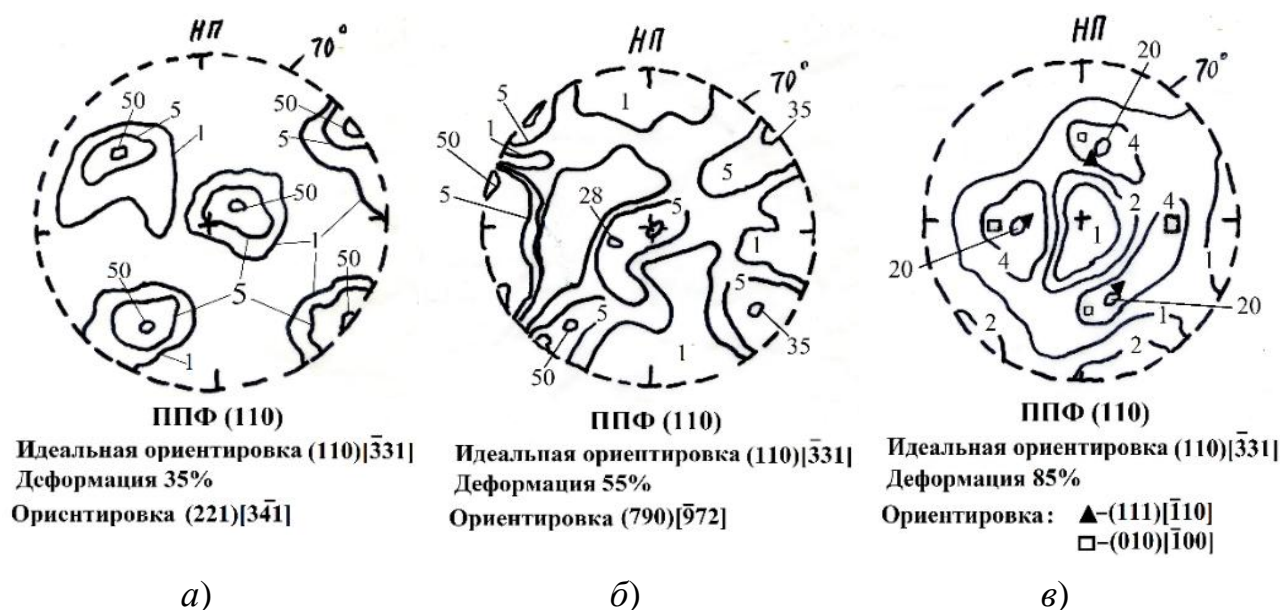


Рисунок 3 – Прямые полюсные фигуры (110) центральных слоев образцов (а, б, в) холоднокатаного сплава $Fe - 3\% Si(110)[hkl]$ с исходной идеальной ориентировкой $(110)[\bar{3}31]$, прокатанных на лабораторном прокатном стане с диаметром валков 90 мм., со степенью обжатия:
 а) – 35%; б) – 55%; в) – 85%.

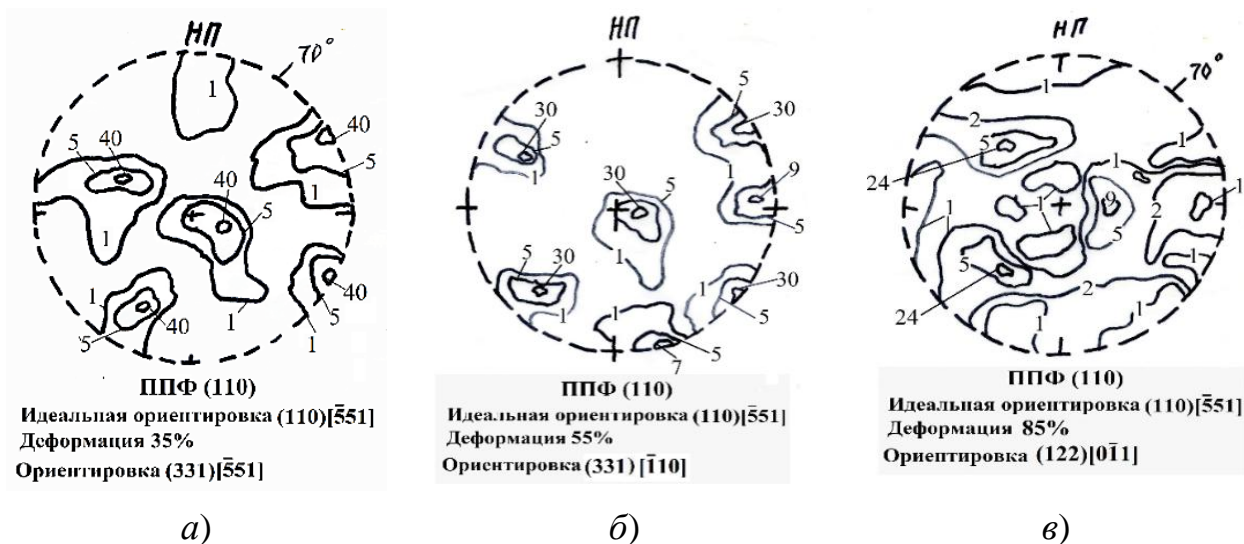


Рисунок 4 – Прямые полюсные фигуры (110) центральных слоев образцов (а, б, в) холоднокатаного сплава $Fe - 3\% Si(110)[hkl]$ с исходной идеальной ориентировкой $(110)[\bar{5}51]$, прокатанных на лабораторном прокатном стане с диаметром валков 90 мм., со степенью обжатия:
 а) – 35%; б) – 55%; в) – 85%.

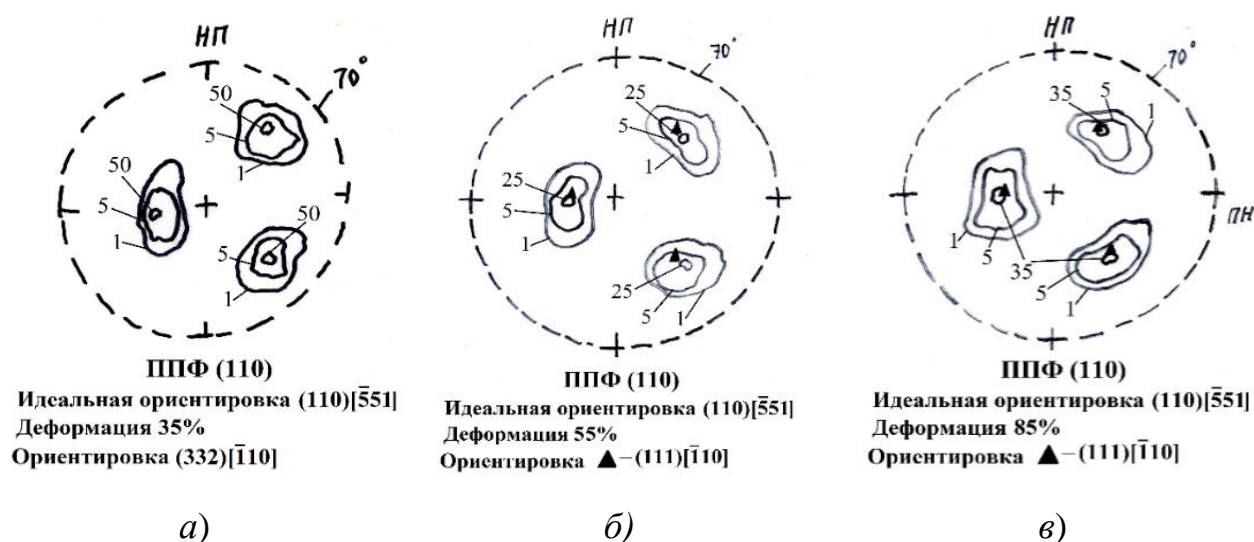


Рисунок 5 – Прямые полюсные фигуры (110) центральных слоев образцов (а, б, в) холоднокатаного сплава $Fe - 3\% Si(110)[hkl]$ с исходной идеальной ориентировкой $(110)[\bar{5}51]$, прокатанных на лабораторном прокатном стане с диаметром валков 90 мм., со степенью обжатия:
 а) – 35%; б) – 55%; в) – 85%.

Таблица 1 - Результаты рентгеноструктурного анализа прокатки образцов сплава $Fe - 3\%Si$ групп образцов 1-3

Группа образцов	Номер рисунка	Идеальная ориентировка	Отклонение по плоскости (110) [градусы]	Ориентировка после деформации:		
				35%	55%	85%
				Предварительная	Промежуточная	Окончательная ориентировка
1	1	$(110)[\bar{1}12]$	8	$(112)[\bar{3}5\bar{1}]$	$(112)[\bar{3}5\bar{1}]$	$(234)[\bar{5}6\bar{2}]$
	2	$(110)[\bar{1}11]$	8	$(326)[\bar{6}61]$	$(335)[\bar{1}10]$	$(112)[\bar{1}10]$
2	3	$(110)[\bar{3}31]$	7	$(221)[3\bar{4}1]$	$(790)[\bar{9}72]$	$(111)[\bar{1}10]$ $(010)[\bar{1}00]$
	4	$(110)[\bar{5}51]$	7	$(331)[\bar{5}51]$	$(331)[\bar{1}10]$	$(122)[0\bar{1}1]$
3	5	$(110)[\bar{5}51]$	5	$(332)[\bar{1}10]$	$(111)[\bar{1}10]$	$(111)[\bar{1}10]$

Таким образом, можно сказать, что при формировании текстуры прокатки $(110)[hkl]$ центральных слоев сплава $Fe - 3\%Si$, с отклонением от плоскости (110) в сторону направления прокатки на 8 градусов – во всех случаях ориентировка однокомпонентная, близкая по плоскости к (112); по исходному направлению $[\bar{1}12]$ близкая к направлению к $[\bar{5}6\bar{2}]$, а по исходному направлению $[\bar{1}11]$ близкая к направлению $[\bar{1}10]$.

Анализ текстурообразования при прокатке монокристаллов групп 2 и 3 показал, что имеется сходство в формировании текстуры, а именно во всех случаях основная ориентировка $(111)[\bar{1}10]$, т.е. монокристалл поворачивается вокруг кристаллографического направления $[\bar{1}10]$, близкого к направлению прокатки.

Отличие в текстуре прокатки сплавов групп 3 и 2 состоит в том, что в первом случае образуется однокомпонентная ориентировка $(111)[\bar{1}10]$, в то время, как во втором почти всегда присутствует вторая слабая ориентировка. Особо следует отметить, что в том случае, когда обжатие за один подкат невелико, то образуется однокомпонентная ориентировка $(111)[\bar{1}10]$ и увеличение обжатия за один подкат приводит к появлению двухкомпонентной ориентировки.

Заключение.

При исследовании центрального слоя текстуры прокатки исследуемого сплава $Fe - 3\%Si$ $(110)[hkl]$ были отмечены некоторые отличия в формировании текстуры от описанных ранее в литературных источниках. Установлено, что при прокатке сплава $Fe - 3\%Si$ по плоскости (110), отклоненных от плоскости прокатки вокруг поперечного направления прокатки, в центральном слое образуется однокомпонентная текстура деформации, обусловленная действием симметричных систем скольжения

Литература

- [1] Hgun Hu and R. S. Cline Rolling Texture in Aluminium-Iron Single Crystals.// *Trans of The Metallurgical Society of AIME.*, 224. - 784 p. (In Eng)
- [2] Аврамов Ю.С., Науманн Г. Формирование текстуры рекристаллизации при прокатке монокристаллов Fe-Si(3%) монокристалла (110) в различных кристаллографических направлениях. // *Неорганические материалы* 1967. Т. 3, №7. -С. 1170-1173.
- [3] Аврамов Ю.С., Молотилов Б.В., Науманн Г., Самарина Н.М. Соотношение между текстурами деформации и рекристаллизации при прокатке монокристаллов (110) трансформаторной стали в различных направлениях // *ФММ.* 1966. Т.21, № 5. – С. 740-744.
- [4] Oplnsky A.J. and Smoluchowski R. The Crystallographic Aspect on Slip Body-Centered Cubic Single Crystals. 2. Interpretation on Experiments.// *Journal of Applied Physics.* 1951. v. 22, № 12, -P. 1488-1492. (In Eng)
- [5] Хук. Отжиг кремнистого железа. - Сб: Возврат рекристаллизация металлов. - М.: *Металлургия*, 1966. - С. 273-326.
- [6] Савинская А.А., Гольдштейн В.Я., Исследование неоднородности текстурообразования при прокатке монокристаллов кремнистого железа. // *Материалы 3-ей Всесоюзной конференции по текстурам и рекристаллизации в металлах и сплавах*, Красноярск: КрПИ, 1982, -С. 92-99.
- [7] Казаджан Л.Б., Сильникова Е.Ф., Дергач ВВ. Асимметрия текстур деформации монокристаллов кремнистого железа // *Известия А.Н. СССР, серия физическая*, т.43 , 7, 1979 г. - С. 1385-1387.
- [8] Талашкевич И.П., Мишнёв С.В. Текстурообразование при дифференциальной прокатке железа. Тез. докл. Всесоюз. конф. “Повышение долговечности и надёжности машин и приводов”, 22-24 сентября 1981 г., Куйбышев. – Куйбышев: КПИ, 1981, -354с.
- [9] Мишнёв С.В., Талашкевич И.П., Дурнев В.Д. Технологии получения текстурированного металлического листа дифференциальной прокаткой. *Вестник КГТУ, Машиностроение*, Красноярск, 1999 г., с. 66-73.
- [10] Kurmangaliyev T. B., Sherov K.T., Sikhimbayev M.R., Absadykov B.N. and other. Experimental study of optimal parameters of pneumatic motor of vibration table for inertial vibroabrasive machining the parts on the basis of beryllium oxide. *News of the Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan. Series of Geology and Technical Sciences.* 2018, №5, - P. 184-191. (In Eng)
- [11] Sherov K.T., Sikhimbayev M.R., Absadykov B.N. and other. Control's accuracy improvement and reduction of labor content in adapting of ways of metalcutting tools. *News of the Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan. Series of Geology and Technical Sciences.* 2018, №6, - P. 170-179. (In Eng)
- [12] Sikhimbayev M.R., Sherov K.T., Zharkevich O.M. et al. Experimental studies of stabilization of boring cutter form-building top oscillation // *Journal of Vibroengineering*, – Kaunas, June 2012, Volume: 14, Issue 2 (792), Pages 661-670. (In Eng)
- [13] Berezyuk V., Kuzembayev S., Sherov K., Sikhimbayev M., Mishnev S. and other. Increase of precision of casting blocks by applying acoustical oscillations in gas-impulsive moulding. *Journal of Vibroengineering. The Lithuanian Academy of Sciences.* – Kaunas, August 2015, Volume 17, Issue 5(1667), - pages 2178-2185. (In Eng)
- [14] Бабарэко А.А. Текстуры металлов и сплавов. *Итоги науки и техники.* – М.: *ВИНИТИ АН СССР*, 1980, – С. 79-148.
- [15] Вассерман, Гревен И. Текстуры металлических материалов. – М.: *Металлургия*, 1969. – 654 с.
- [16] Смирнов В.С., Дурнев В.Д. Текстурообразование металлов при прокатке. - М.: *Металлургия*, 1971, -254с.

[17] Вишняков Я.Д., Бабарэко А.А. и др. Теория образования текстур в металлах и сплавах. – М.: Наука, 1979, - 343с.

[18] Дурнев В.Д., Талашкевич И.П. Симметрия в технологии. - Санкт-Петербург: Политехник, 1993, -256 с.

[19] Талашкевич И.П., Мишнев С.В. Симметрия текстур металлов при последовательной прокатке. Тез.докл. III Всесоюзной конференции по текстурам и рекристаллизации в металлах и сплавах. - Красноярск: КПИ, 1980, -С.10-12.

[20] Талашкевич И.П., Мишнёв С.В., Славов В.И. Симметрия текстур при параллельной прокатке. – Тез.докл. III Всесоюзной конференции по текстурам и рекристаллизации в металлах и сплавах.– Красноярск: КПИ, 1980, – 12с.

[21] Талашкевич И.П., Славов В.И. О симметрии текстур и их ориентировка в кубических металлах. – Изв. АН СССР, сер. Физическая, 1979, т.43, N7, – С. 1380-1384.